

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННЫХ  
МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СПЛАВЛЕНИЯ**А.В. Николаева

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., Н.С. Пушилина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [philip371g@gmail.com](mailto:philip371g@gmail.com)**RESEARCH SAMPLES OF A TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V FABRICATED BY ELECTRON  
BEAM ADDITIVE MANUFACTURING**A.V. Nikolaeva

Scientific Supervisor: Associate Professor, PhD N.S. Pushilina

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [philip371g@gmail.com](mailto:philip371g@gmail.com)

**Abstract.** *In the present paper, were studied samples of a titanium alloy Ti-6Al-4V fabricated by electron beam melting (EBM) using scanning electron microscopy and microhardness measurement. For this study, samples were prepared in the form of Ti-6Al-4V titanium alloy paddles. Mean powder particle sizes range ~ 53 μm. In addition, the thickness of the α-phase plates was estimated and the average microhardness of the sample was established.*

**Введение.** Перспективным методом аддитивного изготовления трехмерных металлических деталей является электронно-лучевое сплавление (ЭЛС) [1], которое представляет собой образование последовательных слоев путем сплавления металлического порошка в вакуумной камере. Данная технология использует мощный электронный пучок, который обеспечивает энергию, необходимую для высокой производительности и высокой плавильной способности. Возможности технологии электронно-лучевого сплавления в настоящее время ограничены размером пятна электронного пучка в зоне плавления диаметром 0,25–1 мм [2].

Преимущество ЭЛС состоит в том, что процесс в вакууме позволяет получать высококачественные изделия из титанового сплава Ti-6Al-4V, которые широко применяются в аэрокосмической сфере и мелкосерийном производстве. Также для изделий важна высокая эффективность и производительность при умеренных рабочих температурах, хорошая усталость и длительная прочность. Поэтому для технологий аддитивного производства важно получить материал приемлемого качества. Для этого необходимо понять влияние обработки на микроструктуру и свойства получаемого аддитивного материала.

Целью данной работы является исследование микроструктуры и микротвердости образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V, изготовленных методом электронно-лучевого сплавления.

**Экспериментальная часть.** Изготовление образцов проводилось на установке электронно-лучевого сплавления, спроектированной и собранной в ТПУ. Образцы изготавливались из порошка Ti-6Al-4V производства НОРМИН (Россия).

На первом этапе изготовления образцов, осуществлялся прогрев подложки расфокусированным электронным лучом. В качестве подложки использовалась сталь. Диаметр луча при прогреве составил – 4 мм, скорость перемещения электронного луча – 16000 мм/с. После процедуры прогрева на подложку насыпали порошок, толщина слоя составляла порядка 70 мкм. Перед расплавлением каждого слоя порошок предварительно нагревали и спекали при высоких скоростях сканирования электронного луча. Вначале проводилось плавление по контуру изготавливаемых образцов, в этом случае ток составлял 15 мА, количество контурных проходов 3. После проводилось заполнение центральной области образцов. Траектория электронного луча представляла собой линии пилообразного типа, расстояние между параллельными дорожками при сплавлении 150 мкм.

Подготовка образцов для исследований осуществлялась сначала при помощи механической шлифовки, а затем полировки образцов (рисунок 1).

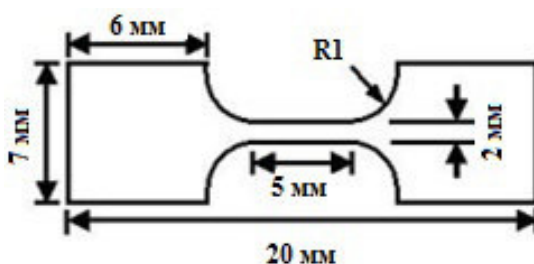


Рис. 1. Типичный образец, изготовленный методом ЭЛС

**Результаты.** В ходе исследования было установлено, что микроструктура образца представляет двухфазный ( $\alpha + \beta$ ) – сплав с пластинчатой структурой. Внутренний объем  $\beta$  – зерен разделен  $\alpha$  – пластинами, собранными в  $\alpha$  – колонии. В каждой колонии  $\alpha$  – пластины разделены прослойками  $\beta$  – фазы [3]. Толщина пластин  $\alpha$  – фазы равна  $0,53 \pm 0,09$  мкм (рисунок 2).

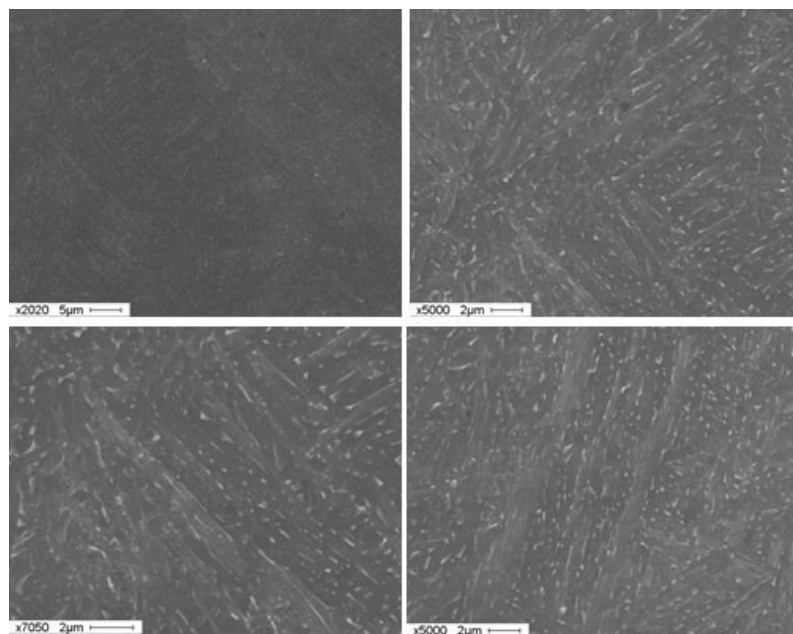


Рис. 2. СЭМ – изображения поверхности образца, изготовленного методом ЭЛС

Определение величины микротвердости проводилось по длине образца при испытательной нагрузке 0,5 кг. Количество индентаций равно 50. На основании измерений твердости по методу Виккерса был построен график зависимости микротвердости от координаты для образца Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС (рисунок 3) [4]. Среднее значение твердости составляет  $\langle HV \rangle = 372 \pm 15$ .

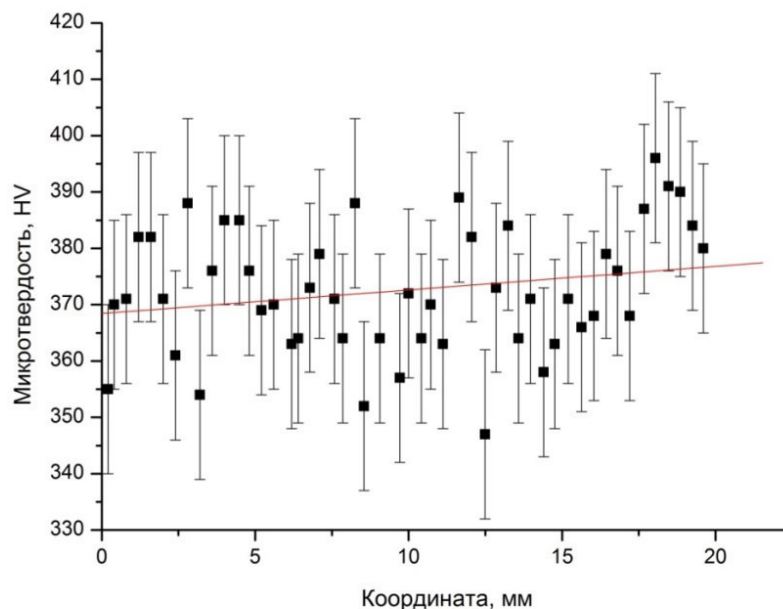


Рис. 3. Микротвердость образца титанового сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС

**Заключение.** В результате исследования методом сканирующей электронной микроскопии была изучена микроструктура образцов Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС. Толщина пластин  $\alpha$  – фазы равна  $0,53 \pm 0,09$  мкм. Измерение твердости показало, что среднее значение микротвердости образца составляет  $\langle HV \rangle = 372 \pm 15$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bikas H., Stavropoulos P., Chrysosolouris G. Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – V. 83., №. 1–4. – P. 389-405.
2. Seifi M. et al. Evaluation of orientation dependence of fracture toughness and fatigue crack propagation behavior of as-deposited Arcam EBM Ti-6Al-4V // Jom. – 2015. – V. 67., №. 3. – P. 597-607.
3. Савченко Н.Л. и др. Особенности структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V при формировании изделий с использованием электронно-лучевой проволоочной аддитивной технологии // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20., №. 4. – С. 60-71.
4. Утяганова В.Р. и др. Модификация структурно-фазового состояния титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым аддитивным методом // Известия высших учебных заведений. – 2019. – Т. 62., №. 8. – С. 7-18.